

La presencia del caos en un mundo determinista*

Graciela Chaparro
Estudiante Economía UPTC

Roberto Avila
Profesor Escuela de Filosofía y Humanidades UPTC

El estado presente del sistema de la naturaleza es evidentemente una consecuencia de lo que era en el momento anterior y, si imaginamos una inteligencia que en un instante dado abarcara todas las relaciones entre los entes de este universo, podría decir las posiciones respectivas, los movimientos y las propiedades generales de todos estos entes en cualquier tiempo del pasado o del futuro.
Laplace, 1776

Una causa muy pequeña que escapa a nuestra atención determina un efecto considerable que no podemos dejar de observar y entonces decimos que el efecto es debido al azar.
Poincaré, 1903¹

Resumen:

La ciencia moderna estableció una serie de procedimientos para conocer la realidad, basados en parámetros entre los que se destacan el uso del método analítico de Descartes, las herramientas de la mecánica newtoniana y la confianza en modelos formalizados e idealizados. Sin embargo, cada vez toma más fuerza la necesidad de aplicar otros procedimientos que permitan superar el reduccionismo y el determinismo extremo, entre los cuales se señala el de los sistemas dinámicos no lineales. Finalmente se menciona cómo en la economía se han empezado a utilizar tales sistemas como un medio de comprender fluctuaciones económicas complejas.

Palabras clave: Mecanicismo, determinismo, dinámica no lineal, economía.

Abstract:

Modern science has established several procedures to get to know reality, based on the use of the Cartesian analytical method, Newtonian mechanical tools and the belief in formalized and idealized models. Nevertheless, the need to apply other procedures capable of overcoming reductionism or extreme determinism, grows stronger every time. Among these methods is dynamic non-linear systems. At the end, the authors mention how economics had begun to use such methods as a way to understand complex economic fluctuations.

Key words: Mechanicism, determinism, non-linear dynamics, economics.

* El presente trabajo es producto del grupo de investigación *Vórtice* sobre «Los espacios del determinismo», adscrito a la Escuela de Filosofía UPTC y hace parte de la monografía «La dinámica no lineal en el análisis económico: una aproximación» de Graciela Chaparro.

¹ Crutchfield et al. «Caos», En: *Investigación y Ciencia*. N° 125, febrero de 1987.

El mundo mecánico

Lo que se intentará hacer en el presente escrito es una exploración de uno de los cambios fundamentales que se está produciendo en las ciencias, a fin de sustentar sus formas de aplicación, en diferentes campos del conocimiento, para nuestro caso, en la economía. Partimos del supuesto de que la ciencia clásica es un producto de la modernidad vivida en Occidente, fruto, a la vez, de la confianza en que la realidad histórica estaba inmersa en un imparable progreso, frente al cual el saber humano iba escribiendo sus logros. Esta impresión es la que plasma Isaac Newton en su libro *Principios matemáticos de filosofía natural*: «El universo es ordenado y previsible; tiene leyes expresables en lenguaje matemático, y podemos descubrirlas»². Este es uno de los conceptos en los que se fundamenta la confianza en que toda la realidad puede ser comprendida por medio de leyes universales referidas al orden de los sistemas, físicos o sociales.

Este tipo de búsqueda de explicación a los diferentes fenómenos se conoce como mecanicismo y presenta las siguientes características:

- Búsqueda de leyes universales e inmutables. El término ley es casi sinónimo de ley universal y conserva el sabor monárquico de la época.
- Tendencia de la materia hacia la inercia. La inercia se entiende como el estado de pasividad natural de la materia, de cierta manera siguiendo el estado natural armónico del mundo aristotélico.
- Realidad compuesta por unidades y reglas, es decir, de partículas básicas y fuerzas, en

2 Citado por SAMETBAND, Moisés. *Entre el orden y el caos: la complejidad*, 2ª ed. México: FCE., 1999. p. 16.

donde las fuerzas son externas y constituyen las causas principales. Este postulado se deriva del anterior: se asume que si la materia es pasiva deben existir fuerzas, externas, que actúen sobre ella.

- Determinismo en las relaciones de causa a efecto. Existe una relación lineal en la cual no hay múltiples causas con un efecto, ni una causa con múltiples efectos, lo cual conlleva una confianza en las soluciones regulares y en la proporcionalidad de las relaciones de causa a efecto, esto es, que a mayor acción del agente se produce un mayor efecto y viceversa.
- Observación objetiva. Las condiciones en las que se produce la observación no alteran al objeto porque hay una clara separación entre sujeto y objeto.
- Realidad cuantificable. Los fenómenos pueden ser entendidos por medio de la cuantificación; sus cualidades son consideradas como secundarias e incapaces de proveer información relevante³.

Aunque los conceptos básicos de la dinámica se establecieron en el siglo XVII con el trabajo de Newton sobre el estudio de la evolución temporal de los cuerpos celestes, fueron los griegos los primeros en elaborar las primeras ideas sobre el movimiento de los cuerpos, logrando un gran desarrollo en el estudio de la estática gracias a los aportes de Arquímedes. En la antigua Grecia la comprensión de los fenómenos se realizó desde dos concepciones diferentes: el monismo estático de Parménides (no existe el cambio, el movimiento, las dualidades) y el ser en perpetuo movimiento de Heráclito. Platón toma de Parménides el

3 Seguimos en la exposición de estos postulados a Eugenio Andrade en *Los demonios de Darwin: Semiótica y termodinámica de la evolución biológica*. 2ª ed. Bogotá: Universidad Nacional, 2003, p. XXV.

énfasis en el orden y en la inmutabilidad de la realidad y de Pitágoras toma la forma de aplicación de las leyes matemáticas y geométricas. Se concluye que el hombre habita un universo ordenado y racional en donde es posible establecer un orden matemático que exprese regularidad, armonía y simplicidad. La idea del comportamiento regular y ordenado de la naturaleza proviene de las antiguas concepciones del atomismo griego de Leucipo y Demócrito, según el cual el mundo está constituido por partículas elementales que se mueven bajo el efecto de fuerzas que actúan entre sí. De este intento de hacerse a una explicación unitaria y general de la realidad viene la tendencia de la ciencia al reduccionismo⁴, al análisis de los sistemas en términos de sus partes básicas constitutivas: átomos, cromosomas, células o individuos⁵.

Esta concepción se incorpora en el pensamiento cristiano medieval y los científicos del Renacimiento coinciden con sus aspectos fundamentales: el libro de la naturaleza está escrito en lenguaje matemático y el método científico consiste en buscar las leyes universales

4 Entendemos el reduccionismo como el intento de elaborar una visión elemental a partir de una totalidad compleja; es también la búsqueda del conocimiento de nociones fundamentales, emparentado con formas de esencialismo en las que se cree en la existencia de estructuras fundamentales en la realidad.

5 En economía se encuentra que estas partes fundamentales básicas son los individuos y el mercado. Al individuo se lo considera en abstracto, no existen diferencias entre individuos, y sus elecciones se basan en la racionalidad. El individuo es la base del problema económico, y éste se refiere a la asignación de recursos escasos a fines limitados, problema que se soluciona a través de las técnicas de optimización. El mercado se forma por la agregación de decisiones individuales que se armonizan a través de un precio de equilibrio o de sus ajustes y que refleja la mejor solución para todos.

que rigen los fenómenos naturales, para luego experimentar y comprobar si los hechos niegan o corroboran la teoría propuesta. Este método tuvo su expresión matemática gracias a Descartes, quien hizo énfasis en el análisis: dividir el problema para examinar los componentes más simples y luego recomponer en una síntesis para comprender el fenómeno con certeza.

Tanto las ciencias naturales como las ciencias sociales se han basado en la confianza en la búsqueda de formas sencillas de modelización de la realidad, factor que se justifica en el hecho de que toda la realidad es mucho más compleja de lo que la mente humana puede comprender, pues a fin de cuentas el problema del conocimiento consiste en elaborar una imagen o representación conceptual (ordenada), en un intento de plasmar eventos o cosas de un mundo tangible cuyo orden no pasa de ser una presunción. Las leyes del movimiento planteadas por Newton generaron la confianza en que podían ser encontradas regularidades simples por medio de las cuales podría ser explicado el comportamiento de muchos fenómenos naturales. Tal logro fue acogido como la base de una visión determinista de la realidad, cuyos alcances se extendieron a múltiples campos de la ciencia.

El punto de partida de la explicación mecanicista de la realidad se encuentra en la formulación de las leyes de Newton, las cuales permiten conocer con precisión el movimiento de los astros en el universo. En cualquier sistema dinámico las leyes del movimiento se pueden expresar como el producto de la multiplicación de la masa por la aceleración, equivalente a la magnitud de la fuerza ($F = m \times a$): sin importar cuál es la fuerza aplicada,

para todas rige la misma ecuación. Los estudios de movimiento de Newton requieren establecer la velocidad con la que cambia una magnitud, para lo cual hacen uso de las ecuaciones diferenciales; el término *diferencial* del análisis matemático implica establecer las diferencias entre los valores de una magnitud para dos tiempos sucesivos. La característica de estas ecuaciones reside en que su solución (es decir, su integración) tiene un resultado único para cada conjunto de datos numéricos iniciales que se les aplique; son, por tanto, ecuaciones deterministas, en donde existe una causa para cada efecto.

El mecanicismo fue tomado como modelo para el desarrollo de la ciencia, con lo cual las teorías clásicas formularon el determinismo que, en sentido estricto, sostiene que «todo lo que ha habido, hay y habrá, y todo lo que ha sucedido, sucede y sucederá, está de antemano fijado, condicionado y establecido»⁶, principio adoptado con base en la aceptación de relaciones de causalidad lineal entre los fenómenos, con las cuales es posible establecer un patrón de comportamiento formulable matemáticamente capaz de predecir evoluciones futuras de los sistemas.

El trabajo de la mecánica celeste de Newton pertenece a un periodo del desarrollo de la ciencia donde los hechos a estudiar se correspondían con una visión de un universo ordenado, regular y predecible⁷. Sobre esta

base, la ciencia avanzó en la investigación de sistemas que permitieron su estudio bajo el principio de superposición: el todo es igual a la suma de sus partes, cuyo cumplimiento requiere que no existan interacciones entre los componentes del sistema, pues sólo de esta manera se puede dividir el todo para unirlo nuevamente, de manera tal que las relaciones descritas por el comportamiento de las partes sean lineales⁸. Newton adiciona un concepto esencial: aislar idealmente el sistema dinámico que se desea examinar, es decir, tener en cuenta solamente las características relevantes del fenómeno a estudiar, en lo cual sigue los aportes de los experimentos mentales con los que Galileo idealiza las condiciones necesarias y suficientes para la observación de la regularidad de algunos movimientos⁹.

Bajo este esquema, el estudio de la dinámica se concentró en aquellos fenómenos que presentaran las características adecuadas para este tratamiento. Por ejemplo, en el caso de la relación de dos cuerpos en movimiento, el sistema Tierra-Luna, se considera que sólo actúa la fuerza de gravedad de las dos masas que mantiene unidas a las partes por órbitas elípticas, regulares y periódicas. Esta confianza en que los sistemas podían ser reducidos a sus elementos constitutivos más relevantes,

de los efectos de cuerpos exteriores o ajenos al sistema y en el cual se considera que sólo actúa la fuerza de la gravedad de las dos masas, da como resultado un sistema estable, ordenado, regular, periódico y determinista, en el sentido en que su comportamiento se puede predecir para períodos muy largos de tiempo.

8 BERTALANFFY, *Teoría general de los sistemas*. México: FCE, 1995 p17-18.

9 STENGERS, Isabelle. Los episodios galileanos. En: SERRES, Michel. *Historia de las Ciencias*. 2ª ed. Madrid: Cátedra, 1998. P. 265.

6 FERRATER MORA, José. (2001) *Diccionario de Filosofía*. España: Editorial Ariel. 2001, p 846.

7 La unidad elemental en la mecánica clásica es la partícula, la cual determina completamente su conducta física por su masa y por su posición en el espacio al transcurrir el tiempo. La interacción de dos cuerpos o partículas aisladas (es decir, idealizadas)

conduce a que se pretendan extraer de allí conclusiones sobre su evolución pasada y futura: esta era la perspectiva del físico Laplace, quien, a fines del siglo XVIII confiaba en que las leyes de Newton permitían conocer el pasado y el futuro desde el simple conocimiento del estado actual de un conjunto de partículas, por extenso que fuera. Sin embargo, apenas agregando un tercer cuerpo al sistema, el Sol, se encuentra que el recorrido que siguen las masas sufre ligeras perturbaciones: la fuerza de la gravedad de la Luna influye sobre la trayectoria de la Tierra y ésta a su vez afecta a la trayectoria que sigue el Sol, generando pequeñas variaciones que influyen en la dinámica de los tres astros en movimiento. Al continuar el movimiento de los cuerpos, las variaciones continuarán afectando las órbitas ligeramente, en un proceso de realimentación que hará que se presenten irregularidades en las órbitas de los componentes del sistema, causadas por la influencia de la fuerza de la gravedad del tercer cuerpo, dando como resultado una conducta de irregularidad y aperiodicidad en la dinámica del sistema y haciendo que su evolución se torne impredecible en el largo plazo; en esto consiste el problema de los tres cuerpos sobre el que volveremos más adelante.

Un problema de similar carácter se ve en la búsqueda de las matemáticas de sistemas axiomáticos completos y cerrados, expresados en la convicción de Hilbert de que todo problema matemático es susceptible de un resultado exacto o por lo menos de una demostración de su irresolubilidad¹⁰. Pero, al igual que sucede con Laplace, tal esperanza se ve truncada con el descubrimiento de

problemas irresolubles como los que enfrenta Poincaré y por el postulado, descubierto por Gödel, de que todo sistema axiomático alberga en su seno problemas indecidibles a partir de sus axiomas.

El mundo no mecánico

Volviendo a Laplace, su confianza en que los sistemas dinámicos lineales eran predecibles se constituyó en uno de los pilares del determinismo, pues se creía en el principio de causalidad fuerte según el cual la precedencia de un estado condena al mundo a su estado subsiguiente y, puesto que toda la realidad está compuesta por partículas materiales, no habría ninguna posibilidad de que se produzcan estados nuevos fuera de los previstos por las leyes de la mecánica newtoniana. Vale la pena retomar la lectura que hace C. J. Ducasse¹¹ de Laplace pues es muy completa: dice el autor que uno de sus problemas consiste en considerar que todo el mundo es físico y por lo tanto opera bajo las leyes de la mecánica clásica, dejando por fuera dos cosas importantes, como son los «acontecimientos mentales» junto con su capacidad de intervenir en el mundo, y la existencia de procesos como los biológicos que no han podido reducirse a la mecánica. Por otra parte está el hecho de que no puede conocerse el estado preciso del mundo en un momento determinado por el Principio de indeterminación de Heisenberg, que excluye la posibilidad de conocer la posición y la velocidad de una partícula de forma exacta y simultánea, incertidumbre que en la actualidad no se considera como una limitación de conocimiento sino como una

10 POPPER, Karl R. ECCLES, John C. *El yo y su cerebro*. Barcelona: Labor, 1985, p. 48.

11 DUCASSE, C. J. Determinismo, libertad y responsabilidad. En: HOOK, Sidney. *Determinismo y libertad*. Barcelona: Fontanella, 1969, p. 213-215.

limitación real (no hay un estado determinado del mundo, ni siquiera el vacío lo es pues está lleno de incertidumbres cuánticas que permiten la aparición y aniquilamiento de pares partícula-antipartícula). Se discute también la posibilidad de que los acontecimientos sean únicos, es decir, que obedezcan a su historia particular, pues en últimas todos tienen una situación diferente, con lo cual el alcance de lo que conocemos como leyes resulta muy limitado. Por estas razones, dice Ducasse, el determinismo como previsibilidad universal «sólo es un pío pero tendencioso artículo de fe científica»¹². Hay que agregar que las interpretaciones de Laplace van desde quienes lo consideran como un determinista más blando que habla de la sucesión causal de los estados de cosas hasta quienes utilizan las herramientas de la física cuántica para probar que la incertidumbre de las micropartículas hace desaparecer paquetes de información que llevan al traste las posibilidades de predicción.

No podemos llegar al extremo de desconocer que el conocimiento de la naturaleza y de la sociedad ha avanzado gracias al empleo de métodos mecanicistas y reduccionistas, pero también ha generado que las situaciones que no presentan el orden, la regularidad o la periodicidad necesarios para ser tratados como mecanismos reducibles a componentes más sencillos, sean tratados como excepciones o reducidos a explicaciones excesivamente simples, expresables en relaciones matemáticas comprensibles. Esta es otra forma de la tensión entre nuestro conocimiento y nuestra ignorancia, pues nos vemos abocados al problema de si trabajar con modelos simplificados (pero comprensibles) o con las

descripciones (inagotables) de los hechos tal como son.

Desde el punto de vista reduccionista, es posible descomponer un sistema en sus partes elementales para comprender el todo, sin embargo, este planteamiento no considera que la posibilidad de reducir un sistema a sus partes no implica que se pueda reconstruir a partir de ellas, ya que «(...) las partes no actúan ni poseen características independientes unas de otras, no siendo posible analizar de manera adecuada una totalidad funcional desde un punto de vista aditivo, ni inferir su estructura partiendo de las propiedades manifestadas por sus constituyentes al margen de la totalidad»¹³. Bastaría pensar en hasta dónde es posible comprender el funcionamiento de un organismo como una multitud de células o la célula como un conjunto de interacciones químicas o una sociedad como un agregado de individuos. Esto plantea la necesidad de revisar el estudio de muchos fenómenos a partir de una nueva concepción, que incorpore contemplar la realidad desde un punto de vista más rico y complejo, que implique también la consideración de secuencias causales que operen no solo de lo elemental a lo compuesto sino también en sentido inverso¹⁴.

El enfoque reduccionista de la ciencia se ha utilizado para estudiar tanto sistemas simples como complejos, configurándose de esta manera una visión lineal de los procesos naturales y aún de los sociales. La aparición de comportamientos irregulares y aperiódicos en esta perspectiva se venía considerado apenas

13 FERNANDEZ DÍAZ, Andrés. *Dinámica caótica en economía* 2ª Ed. España: McGraw Hill, 2000, p.43.

14 POPPER, Karl R. Op. Cit., p. 15-24.

12 Ibid. P. 215.

como el resultado de procesos aleatorios o de perturbaciones correspondientes a sistemas cuya complejidad se encuentra fuera del ámbito de análisis de la linealidad. Para entender de otra manera estos comportamientos se han creado y se han puesto en práctica herramientas de análisis que posibilitan el avance en el estudio de estos sistemas, los cuales, debido a la multiplicidad de sus factores, presentan un comportamiento mucho más complejo que el comprensible a la luz de la mecánica de las atracciones y los choques. Inicialmente su estudio se realizó a través de la estadística y de los promedios, para buscar, si no su comprensión, por lo menos anticiparse a sus siguientes movimientos. A finales del siglo XIX la ciencia considera por tanto la existencia de dos tipos de sistemas para los cuales existen las herramientas de análisis adecuadas: para sistemas simples, conformados por pocos elementos, se cuenta con el cálculo diferencial e integral, y para sistemas complejos, en los cuales es imposible seguir trayectorias individuales, como en el caso de las partículas de un gas, se cuenta con la teoría de la probabilidad y con la estadística.

Ambos abordajes se han revelado insuficientes ante la comprobada existencia de fenómenos cuyo comportamiento puede ser imprevisible aún partiendo de la presencia de pocas reglas o de pocos factores en juego, pues los sistemas pueden hacerse complejos aún con la existencia de una cantidad limitada de factores: no es su multitud lo que causa la complejidad sino las interacciones que se dan entre ellos las que permiten la emergencia de comportamientos en apariencia irregulares.

Esta situación hace necesario empezar a manejar una nueva concepción, como la que se generó a lo largo del siglo XX, visión en la

que es necesario trabajar con otras categorías de análisis como las de no linealidad, según la cual las respuestas esperadas al comportamiento de un sistema no se someten a las ecuaciones lineales de la ciencia clásica, sino que comprenden otros sistemas de ecuaciones interrelacionadas que hacen referencia a la multiplicidad de soluciones que es común a los sistemas no idealizados. Con esto se hace referencia a la presencia de caos, entendido no como desorden sino en su acepción técnica que es «comportamiento estocástico que ocurre en un sistema determinista»¹⁵. En las ciencias de la naturaleza tal dirección de estudio se ha venido desarrollando desde mediados de los años sesenta, dirección que en la economía ha venido teniendo participación desde hace un cuarto de siglo.

El estudio de sistemas deterministas que presentan soluciones caóticas fue iniciado por Henri Poincaré a finales del siglo XIX. Se puede considerar a Poincaré como precursor de la teoría del caos gracias a su explicación del «problema de los tres cuerpos», en el cual la presencia de irregularidades y de aperiodicidades ya no es causada por perturbaciones aleatorias externas, sino por la realimentación (no linealidad) del comportamiento de tres cuerpos en movimiento, es decir, por la dinámica interna del sistema. Sólo en la década de 1960 y gracias al uso de los computadores, se retoma el análisis de sistemas no lineales o caóticos, es decir, de sistemas que obedecen a leyes inmutables y precisas (deterministas) pero que no siempre actúan de manera predecible y regular. A este comportamiento se le ha

15 STEWART, Ian. *¿Juega Dios a los dados?*. Barcelona: Editorial Crítica, 2001. p. 30.

llamado «caos determinista» y propone una explicación alternativa a la presencia de irregularidades y de aperiodicidades en el comportamiento de un fenómeno (natural o social). De manera que, aunque los estudios científicos partieron del análisis de fenómenos regulares, ordenados y periódicos, dominados por la visión lineal de correspondencia entre causa y efecto, analizables bajo el principio de superposición, en muchas áreas se empieza a estudiar la aparición de irregularidades y aperiodicidades de sistemas no lineales o caóticos, en los cuales existe interacción entre los componentes del sistema que no permiten su división para estudiar sus partes fundamentales, y que, por el contrario, su examen requiere que se los conciba como totalidades, ya que su irregularidad no puede ser vista como dependiente de factores exógenos, sino que es generado por la misma evolución o dinámica del sistema, y por la interacción entre sus componentes. A este tipo de sistemas deterministas que generan evoluciones erráticas y aperiódicas se los conoce como sistemas dinámicos no lineales, caóticos, o de dinámica compleja. Por esto se puede considerar que la dinámica no lineal es una alternativa para la modelización de fluctuaciones económicas pues ha desarrollado herramientas alternas para analizar los problemas relacionados con la inestabilidad y las fluctuaciones, ya que los modelos dinámicos lineales sólo entendían estos fenómenos como desviaciones temporales de los estados de equilibrio y de los ciclos periódicos a los que se supone que debe converger naturalmente la economía.

Así, la dinámica caótica viene a ocuparse de fenómenos que presentan irregularidad en su movimiento y procesos de realimentación, es decir, no linealidad, lo cual impide que sean

tratados como fenómenos aislados y estudiados desde la perspectiva reduccionista de la ciencia. Lo que se ha buscado con la aplicación de la dinámica no lineal en la economía es precisamente introducir un elemento teórico capaz de dar un manejo a ese tipo de factores, los cuales no dejan de tener alguna presencia en todo hecho real. La dinámica no lineal, con una trayectoria de varias décadas, logra estudiar regularidades más complejas a las linealidades que manejan las teorías clásicas de la ciencia (puestas al servicio de problemas que rebasan sus alcances) en la medida en que este nuevo cuerpo teórico pone en juego nuevas consideraciones tales como:

- La existencia del caos, considerado como una definición del tipo de regularidades que se presentan en los sistemas complejos;
- la causalidad, entendida no como determinista y proporcional, sino como un factor que muchas veces es sensible a las condiciones iniciales;
- los atractores extraños, como un el tipo de modelación del comportamiento a largo plazo de los sistemas dinámicos.

De la misma forma, los modos de análisis empleados sobrepasan la graficación bidimensional tradicional, por lo cual es necesario llevarlos al llamado espacio de fases, en el que pueden encontrarse regularidades en lo que en apariencia es caótico, con lo cual pueden conocerse, medirse y aplicarse los factores que para los modelos clásicos son simple interferencia.

Economía no lineal

La consolidación de la economía como ciencia coincide con la época en que están en auge tanto la visión de un mundo del determinismo

estricto como el paradigma newtoniano de la física, la cual era considerada como la ciencia exacta por excelencia, como lo expresan Rubiano y Bejarano:

La otra explicación, de por qué se llegó a una cierta configuración de la economía, se desprende de la visión imperante en la ciencia del siglo XVIII; la ciencia era entendida como una estructura de constantes y relaciones invariantes que estaban detrás de toda realidad exterior, y la preocupación fundamental se encontraba en llegar a esos principios o *regularidades* científicas y ojalá poderlas expresar como un conjunto general de ecuaciones. El modelo de la ciencia es el de la mecánica clásica, en el cual, se plasma la transición del estudio de los cuerpos concretos al análisis de sus propiedades abstractas (masa, aceleración, velocidad, etc). Como la física, la economía pasó también del estudio de las sociedades y modos de producción concretos al análisis abstracto de variables, categorías y relaciones aplicables a cualquier sistema de producción y cambio¹⁶.

La visión lineal del mundo económico supone que un sistema puede describirse por medio de relaciones funcionales lineales o cuasi lineales y que todos los efectos de las no linealidades son considerados como irregularidades del sistema, analizándose sólo las que pueden ser aproximadas por sistemas lineales: tradicionalmente se ha entendido que cuando el modelo no logra predecir o explicar la realidad es debido a la injerencia de factores externos o aleatorios imposibles de controlar. Esta perspectiva ha limitado la capacidad de análisis de los modelos económicos, que necesariamente tienen que recurrir al uso de tales perturbaciones aleatorias exógenas para dar una respuesta a la evolución errática y

16 RUBIANO, Jorge, y, BEJARANO, Edgar. «Equilibrio general y surgimiento de la teoría neoclásica.» En: *Universitas Económica*, vol 6, No 2, Bogotá, 1989. p 14.

aperiódica que se observa empíricamente en las variables económicas. En efecto, es escasa la evidencia empírica de que los datos económicos converjan a estados estacionarios, o a crecimientos uniformes o a ciclos periódicos, que son los únicos considerados por la dinámica lineal. Así, las relaciones lineales dominaron el estudio de los sistemas dinámicos afianzándose la idea de que la linealidad es la regla de la naturaleza y la no linealidad es la excepción, y, por ello se produce ese predominio en el uso de los modelos dinámicos lineales en la economía¹⁷. Cuando se observa una variable económica se nota que fluctúa de forma irregular, y los modelos usados para explicar las fluctuaciones de la economía por poseer una forma estructural determinista¹⁸ no han podido explicar tales irregularidades sin recurrir al uso de perturbaciones aleatorias.

En el análisis económico se acude al modelo de explicación científica clásica donde se reduce la complejidad de las causas a modelos ideales que toman en consideración sólo una parte de las muchas influencias que pueden afectar el comportamiento de un sistema económico dinámico. Así mismo el análisis económico ha operado mediante el planteamiento de Descartes de descomponer en partes para comprender el todo, y en general de todas las características del determinismo mecanicista o reduccionista. Con la simplificación de la compleja realidad económica se ha olvidado el hecho de que siempre confluyen múltiples relaciones y que éstas no son estrictamente

17 Salvo en la década de los cincuenta, marcada por el uso de los modelos no lineales.

18 El determinismo se basa en las propiedades matemáticas de sistemas dinámicos básicamente lineales en los cuales no intervienen factores estocásticos.

lineales. Los comportamientos que aparentan ser irregulares han sido tratados como perturbados por factores externos imprevisibles, pero el caos determinista no apela a esos factores para la búsqueda de explicaciones a la aparente irregularidad. Por contraste, los estudios de dinámica no lineal en economía han abordado temas como las fluctuaciones en los ciclos económicos, en el mercado bursátil, en las variaciones de precios de bienes y de cantidades o en el crecimiento económico; también se ha aplicado a la investigación analítica y numérica de los modelos de dinámica económica y al análisis de series temporales.

El estudio de los procesos económicos se ha desarrollado dentro del esquema de la ciencia lineal clásica y de ello se han derivado leyes que han creado una visión reduccionista de fenómenos de una alta complejidad, como los sociales. En la actualidad existe una gradual inclinación entre los economistas (de forma análoga a lo que se ha hecho en otras ciencias) a aceptar que las vías de exploración que la ciencia ha encontrado en el estudio del caos determinista ofrecen explicaciones alternativas y útiles para comprender el aparente comportamiento aleatorio de muchas variables económicas; la razón es que, si bien estos estudios se originan en la física y en la biología, exploran el campo de la dinámica no lineal, es decir, de la evolución temporal de los sistemas –sean ellos físicos o sociales–, como manifestación de su totalidad compleja.

Con inusitada frecuencia se olvida que en las ciencias sociales se suele trabajar con abstracciones que permiten modelar cierto tipo de comportamientos, de la misma manera que en las ciencias naturales se olvida la distancia que existe entre los modelos

idealizados (curiosamente llamados normalizados) con respecto a la realidad. El *homo economicus* es un constructo al igual que cualquier otro modelo físico en que, por ejemplo, se suprime la fricción. Como lo señala Gutiérrez: «El *homo economicus* es por tanto un modelo abstracto que representa los procesos de toma de decisiones de un hipotético agente racional en las condiciones formalmente definidas por la teoría»¹⁹, y se aplica como modelo en la medida en que conserva simplicidad y coherencia, a la vez que tenga capacidad de generar conclusiones válidas, aunque no hable de los agentes reales.

Estas limitaciones cada vez son más tomadas en cuenta debido a que la perspectiva clásica es muy limitada para hallar explicaciones satisfactorias de muchos fenómenos: por lo tanto, el camino debe dirigirse hacia el estudio de sistemas considerados en su totalidad, teniendo en cuenta que existen múltiples interacciones entre sus componentes, y que éstas no tienen una estricta conexión de causalidad lineal. Frente al enfoque mecanicista y reduccionista de la ciencia aparece una nueva explicación que plantea el estudio de la realidad en términos dinámicos (no sólo fijos y regulares) y no lineales. De la concepción de un mundo regular y ordenado, regido por leyes universales, la ciencia, en cabeza de la física, ha liderado un cambio hacia el estudio de fenómenos que exhiben comportamientos irregulares, desordenados o caóticos, caracterizados por su sensibilidad a las condiciones iniciales, de los cuales, a diferencia de los que obedecen a ecuaciones lineales, sólo se puede conocer su comportamiento global. Este tipo de sistemas se rigen, sin embargo,

19 GUTIÉRREZ, Gilberto. *Ética y decisión racional*. Madrid: Síntesis, 2000, p. 58.

por leyes deterministas, pero la existencia de irregularidades altera el tipo de predicciones posibles. Sin llegar a plantear una posición indeterminista, en la cual no existirían relaciones de causa a efecto, el caos determinista acepta esas relaciones, aunque asume que no se conocen por completo y por lo tanto acude a modelos estocásticos y al uso de las probabilidades de que un sistema llegue a cierto estado futuro, pues la sensibilidad a las condiciones iniciales induce comportamientos no determinables con anterioridad salvo en sus parámetros generales. Es necesario recalcar que el estudio del caos se separa de lo aleatorio y sigue siendo determinista, pero permite explicar comportamientos que semejan ser aleatorios.

En conclusión, el estudio de la dinámica no lineal no es el intento de crear una nueva teoría en las ciencias sociales, lo que se busca es estudiar y emplear esta nueva herramienta de análisis, siguiendo un camino que ha explorado la economía en otros países desde hace décadas, pero que, desafortunadamente, es incipiente en nuestro medio. También es un intento de presentar alternativas viables a problemas en los cuales las soluciones clásicas son limitadas. En ese sentido es importante abogar por la utilización de los nuevos conceptos de la física y las matemáticas en el análisis económico, para lo cual se deberán aplicar los conceptos relativos a la dinámica no lineal, pues se han revelado más apropiados que las anteriores herramientas en la modelización de fenómenos tan complejos como los sociales. La economía ha empezado a considerar el uso de la dinámica no lineal o caótica como herramienta para el análisis de procesos fluctuantes cuyas explicaciones solo apelaban a las consideraciones derivadas del uso de la dinámica lineal.

Bibliografía

- ANDRADE, Eugenio. *Los demonios de Darwin: semiótica y termodinámica de la evolución biológica*. Bogotá: U. Nacional, 2003.
- BARROW, John D., *¿Por qué el mundo es matemático?* Grijalbo, Barcelona, 1997.
- BERTALANFFY, Ludwig, Von, *Teoría general de los sistemas*. México: FCE, 1995.
- BRINGS, John, y, PEAT, David, *Espejo y reflejo: guía ilustrada de la teoría del caos y la ciencia de la totalidad*. Barcelona: Gedisa, 1990.
- CRUTCHFIELD et al. «Caos», En: *Investigación y Ciencia*. N° 125, febrero de 1987.
- FERRATER MORA, José. *Diccionario de Filosofía*. Editorial Ariel. Barcelona: Ariel, 2001.
- GAMOW, George, *Biografía de la Física*. Madrid: Salvat, 1971.
- GUTIÉRREZ, Gilberto. *Ética y decisión racional*. Madrid: Síntesis, 2000.
- HOOK, Sidney. *Determinismo y libertad*. Barcelona: Fontanella, 1969.
- LORENZ, Edward. *La esencia del caos*. Madrid: Debate, 1995.
- LOSEE, Jhon. *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial, 2001.
- MALDONADO, Carlos. *Visiones sobre la complejidad*. Bogotá: Ediciones El Bosque, 2001.
- MARDONES, J.M., *Filosofía de las ciencias humanas y sociales*. Bogotá: Anthropos, 1991.
- MONOD, Jacques. *El azar y la necesidad: ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*. Barcelona: Tusquets, 2000.
- NAGEL, Ernest. *La estructura de la ciencia. Problemas de la lógica de la investigación científica*, Argentina: Paidós, 1968.
- POPPER, Karl, ECCLES, John C. *El yo y su cerebro*. Barcelona: Labor, 1985.
- PRIGOGINE, Ilya. *¿Tan solo una ilusión?: una exploración del caos al orden*. Barcelona: Tusquets, 1997.
- RUELLE, David. *Azar y caos*. España: Alianza Universidad, 1995.
- SAMETBAND, Moisés. *Entre el orden y el caos: la complejidad*. México: FCE, 1997.
- SERRES, Michel. *Historia de las Ciencias*. 2ª ed. Madrid: Cátedra, 1998.
- STEWART, Ian. *¿Juega Dios a los dados?* Barcelona: Crítica, 2001.

Recibido 29/11/05. Aprobado 16/12/05